

**Análise da porcentagem da ligação semirrígida de uma viga locada em projeto estrutural de concreto armado****Analysis of the percentage of the semi-rigid connection of a beam located in armed concrete structural design**

DOI:10.34117/bjdv5n11-083

Recebimento dos originais: 10/10/2019

Aceitação para publicação: 08/11/2019

**Ana Flávia Almeida**

Estudante de Engenharia Civil pela UniEVANGÉLICA  
Instituição: UniEVANGÉLICA – Centro Universitário de Anápolis  
Endereço: Avenida Universitária, Cidade Universitária.  
E-mail: anaflavia2vps@hotmail.com

**Gibson Gomes**

Estudante de Engenharia Civil pela UniEVANGÉLICA  
Instituição: UniEVANGÉLICA – Centro Universitário de Anápolis  
Endereço: Avenida Universitária, Cidade Universitária.  
E-mail: gibson12rg@hotmail.com

**Wanessa Mesquita Godoi Quaresma**

Mestre em Mecânica das Estruturas pela Universidade Federal de Goiás  
Instituição: UniEVANGÉLICA – Centro Universitário de Anápolis  
Endereço: Avenida Universitária, Cidade Universitária.  
E-mail: wanessamgq@gmail.com

**RESUMO**

O trabalho a seguir tem como objetivo analisar a influência dos semirrígidos em uma estrutura de concreto armado de dois pavimentos. Realizou-se o processo completo de concepção, modelagem e esforços de uma habitação de dois pavimentos. Para posteriormente realizar a variação da porcentagem da viga-pilar e analisar os resultados. Visando a necessidade de obter uma relação sobre a interferência deste vínculo em uma viga e pilar, alterando o seu grau de rigidez previsto por norma vigente, a NBR 6118 (2014) em seu item 14.6.4.3 (Limites para redistribuição de momentos e condições de ductilidade). Com o auxílio do programa comercial de cálculo estrutural Eberick V19®, para analisar uma viga que inicialmente não possui nenhum vínculo, em seguida utilizamos a mesma viga, porém, com semirrígido a 25%, 50%, 75% 99%. Verificou-se as mudanças que podem ocorrer com o carregamento, momento fletor, deslocamento e armadura. As vigas do estudo foram as VP6 (Pavimento Piso) e VC5 (Pavimento Cobertura), todo o restante da estrutura que possui a ligação de semirrígido com proporção de 25%. Observou-se um maior enrijecimento das vigas e menor robustez do pilar. Porém, a indicação de projetar ligações mais rígidas para manter a estabilidade global da

estrutura, nem sempre é interessante, devendo então fazer uma análise criteriosa da situação do projeto em questão.

**Palavra-chave:** Semirrígido. Concreto. Deslocamento. Estrutura de Concreto Armado. Carregamento.

## **ABSTRACT**

The following work aims to analyze the influence of semi-rigid in a two-deck reinforced concrete structure. The complete process of designing, modeling and efforts of a two-story dwelling was carried out. To later perform the variation of the percentage of the beam and analyze the results. Aiming at the need to obtain a relationship about the interference of this bond in a beam and pillar, changing its stiffness degree provided by current rule, NBR 6118 (2014) in its item 14.6.4.3 (Limits for redistribution of moments and conditions of ductility). With the aid of the commercial structural calculation program Eberick V19®, to analyze a beam that initially has no link, we then use the same beam, but with 25%, 50%, 75% and 99% semi-rigid. We will check the changes that can occur with loading, bending moment, displacement and reinforcement. The study beams were the VP6 (Floor Pavement) and VC5 (Floor Pavement), all the rest of the structure that had the semi-rigid connection with a proportion of 25%. Greater stiffening of the beams and less robustness of the pillar were observed. However, the indication of designing more rigid connections to maintain the overall stability of the structure is not always interesting and should therefore make a careful analysis of the situation of the project in question.

**Keyword:** *Rigid*. Concrete. Displacement. Reinforced concrete structure. To charge.

## **1 INTRODUÇÃO**

Segundo ROCHA (apud Rudíny, 2004, p21), uma estrutura de concreto armado (lajes, vigas, pilares etc.) são conectadas por uma ligação solidária (fundida junta), de concreto, com uma estrutura resistente a tração, que em geral é o aço.

O concreto é material da construção civil mais utilizado no mundo, além de boa resistência mecânica, o concreto armado possui outras características que ressaltam a excelência deste material estrutural. Sendo elas:

- Economia - o concreto se revela mais barato que a estrutura metálica, exceto em casos de vãos muitos grandes. Em muitos casos os agregados podem ser obtidos no próprio local da obra. Não exige mão de obra especializada.
- Durabilidade - a resistência do concreto aumenta com o tempo.
- Adaptação a qualquer tipo de fôrma.

- Manutenção e conservação praticamente nulas.
- Resistência ao fogo.
- Impermeabilidade.
- Monolitismo.
- Resistência ao desgaste mecânico (choques, vibrações).
- Facilidade de execução (fácil emprego e manuseio) (SOUZA, 2005, p.6)

Projeto é definido como a composição de elementos estruturais básicos que são definidos por sua forma geométrica e função estrutural, já as ligações podem ser classificadas quanto à sua rigidez em: semirrígida, rígida e rotulada. Sendo as ligações rotuladas não transferem momento fletor da viga para o pilar e as rotações relativas não são restringidas, assim, para valores pequenos de momento fletor apresentam grande rotação. Já a ligação rígida é o extremo oposto, onde o momento fletor atuante é completamente transferido da viga para o pilar e há a restrição total das rotações relativas entre os elementos que compõem a ligação, além da garantia da continuidade da estrutura. A ligação definida como semirrígida apresenta comportamento intermediário, de modo que a ligação possui rigidez parcial, ou seja, com restrição parcial das rotações relativas e dos momentos fletores. A variação dessa transferência é base deste estudo.

Assim, este estudo objetiva-se analisar o comportamento estrutural de um edifício pré-determinado de dois pavimentos, comparando as modificações que podem ocorrer com o momento fletor, esforço cortante, momento torsores, deslocamento e armadura, quando se altera a porcentagem dos nós semirrígidos.

## **2 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO**

Segundo a NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto- procedimento, a parte estrutural de um projeto pode ser definida como a composição de elementos estruturais básicos que são definidos por sua forma geométrica e função estrutural, que ao formarem sistemas estruturais permitem a representação clara dos caminhos percorridos pelas ações até os apoios da estrutura (ABNT, 2014).

Segundo Rebello (2001, p.08).

Conceber uma estrutura é ter consciência da possibilidade da sua existência; é perceber a sua relação com o espaço gerado; é perceber o sistema ou sistemas capazes de transmitir as cargas ao solo, da forma mais natural, é identificar os materiais que, de maneira mais adequada, se adaptam a esses sistemas.

Ao estabelecer um arranjo ou combinação adequada dos diversos elementos estruturais, lajes, vigas e pilares, temos o objetivo de atender simultaneamente os requisitos de segurança, durabilidade, estética, funcionalidade da estrutura.

Após o estudo de solo foram determinados que a fundação a ser utilizada seria blocos com estacas. Sua classe II de agressividade ambiental (CAA), moderada onde abrange os ambientes urbanos e seu risco de deterioração pequeno. A seguir temos as características dos materiais (Figura 1).

Figura 1 - Características dos materiais

Características dos materiais		
fck (kgf/cm <sup>2</sup> )	Ecs (kgf/cm <sup>2</sup> )	Abatimento (cm)
250	241500	10.00

Dimensão máxima do agregado = 19 mm

Fonte: Fonte: Autor (2019)

### 3 SISTEMA ESTRUTURAL.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), no item 14.4.11

Vigas são ditas como elementos lineares em que a flexão é preponderante ‘as vigas são classificadas como barras, geralmente horizontal, que vencem vãos entre os pilares e fornece apoio às lajes, alvenarias e, eventualmente a outras vigas. É solicitada predominantemente á flexão. Sua função é transmitir as ações nelas atuante para os apoios, os pilares. As ações são geralmente perpendicularmente ao seu eixo longitudinal, podendo ser concentradas ou distribuídas. Podem ainda receber forças normais de compressão ou de tração, na direção do eixo longitudinal.

As armaduras das vigas são geralmente compostas por estribos (armadura transversal), e por barras longitudinais, (armadura longitudinal).

Segundo a NBR 6118 (ABNT,2014), no item 14.4.1.2, os pilares são “elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de

compressão são preponderantes” sua função e transmitir as ações atuantes para a fundação da estrutura.

Os pilares são os elementos estruturais de maior importância nas estruturas, tanto do ponto de vista da capacidade resistente dos edifícios quanto no aspecto de segurança.

Além da transmissão das cargas verticais para os elementos de fundação, os pilares podem fazer parte do sistema de contraventamento responsável por garantir a estabilidade global dos edifícios às ações verticais e horizontais (BASTOS, 2011, p.27).

As estruturas formadas por pilares e vigas são chamadas de pórticos. Nos edifícios, sendo eles na maior parte, estes são os grandes responsáveis por resistir às ações horizontais e verticais, e como consequência garante a estabilidade global da estrutura.

Deve-se ter cuidados no detalhamento das suas armaduras e durante a sua execução, pois estes elementos podem sofrer rompimento, devido ao esmagamento do concreto. Uma edificação pode ir a ruína por um simples erro de cálculo ou falha na fase de execução.

Segundo Beer e Johnston (1995) a linha neutra é a reta do plano da seção transversal em que não há tensão normal.

Nesse aspecto, Cesar Jr e Silva (apud CAVALARI, 2014, p.25) dispõe que,

A posição da linha neutra pode ser relacionada com as deformações na borda comprimida da seção e sua armadura tracionada.

Para o domínio 1 temos que a linha neutra encontra-se a uma distância  $x$  fora da seção transversal ( $-\infty < x \leq 0$ ) e, dessa forma, a seção está completamente tracionada.

No domínio 2 a linha neutra encontra-se dentro da seção transversal,  $x$  variando entre 0 e  $X_{lim}(2 - 3)$  (limite entre os domínios 2 e 3).

A linha neutra no domínio 3, também se encontra dentro da seção transversal, com  $x$  variando entre  $X_{lim}(2 - 3)$  e  $X_{lim}(3 - 4)$  (limite entre os domínios 3 e 4). Parte da seção está comprimida e a outra parte, tracionada.

Com parte da seção comprimida e a outra parte tracionada, temos que a linha neutra no domínio 4 está dentro da seção transversal com  $x$  variando entre  $X_{lim}(3 - 4)$  e  $h$ .

No domínio 5 a linha neutra encontra-se fora da seção transversal com  $x$  variando entre  $h$  e  $\infty$ . Neste caso temos toda a seção comprimida.

Assim, com base em AltoQi (2000), o deslocamento perpendicular de seção da estrutura construída limitando-se conforme Normalização em geral 1/350 do vão, usa-se aplicar a contra flecha antes da concretagem melhorando o aspecto da peça estrutural em lajes e vigas.

Pode-se classificar as ligações quanto à sua rigidez em: semirrígida, rígida e rotulada. De acordo com AGUIAR apud SILVA, (2013) as ligações definidas como rotuladas não transferem momento fletor da viga para o pilar e as rotações relativas não são restringidas, assim, para valores pequenos de momento fletor apresentam grande rotação. Já a ligação rígida é o extremo oposto, onde o momento fletor atuante é completamente transferido da viga para o pilar e há a restrição total das rotações relativas entre os elementos que compõem a ligação, além da garantia da continuidade da estrutura.

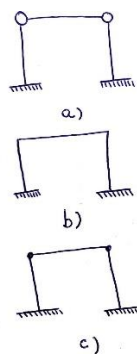
A ligação definida como semirrígida apresenta comportamento intermediário, de modo que a ligação possui rigidez parcial, ou seja, com restrição parcial das rotações relativas e dos momentos fletores.

Figura 2 - Tipo de ligação no programa Eberick.



Fonte: Autor (2019)

Figura 3 – Tipo de ligação quanto a rigidez



a) Rotulada. b) Rígida. c) Semirrígida.

Fonte: Autor (2019)

A "redistribuição de esforços" consiste numa alteração da distribuição de esforços na estrutura ocasionada pela variação de rigidez de seus elementos, que ocorre de acordo com a resposta dos materiais à medida que o carregamento é aplicado ao edifício. Nesses casos sendo função da linha neutra no estado limite último as condições de equilíbrio e de ductilidade devem ser obrigatoriamente satisfeitas para que a peça possua capacidade de redistribuição.

Não é todo tipo de estrutura que admite a redistribuição de esforços. Depende do tipo de material que a compõe.

De acordo com Kimura (2007)

As estruturas de concreto armado, estas sim, são passíveis de absorverem, de forma limitada, certa redistribuição de esforços. Essa variação nos esforços é decorrente principalmente da alteração de rigidez em certas regiões da estrutura oriundas da plastificação dos materiais (concreto e aço) e do surgimento da fissuração (concreto). (apud CAVALARI, 2014, p34).

Em pilares superiores com maior quantidade de ferragem é, em vários casos, devido aos momentos fletores que as vigas acabam transmitindo aos pilares, dessa forma a deformação da viga em seus vãos provoca a rotação no apoio, gerando os momentos.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece os critérios para redistribuição de momentos, sendo que ela não pode chegar a 100%. Uma alternativa mais condizente com as recomendações da Norma é o lançamento de nós semirrígidos nos apoios das vigas, simulando um engastamento parcial entre os elementos ao invés de nulo (CAVALARI, 2014, p34).

Segundo Kimura (2001)

Se uma determinada parte da mesma não é capaz de absorver um esforço na sua totalidade, o restante, isto é, a parcela de esforços não absorvida, migrará para outra parte da estrutura que tenha capacidade de resisti-lo. O esforço migra de uma região para outra, ou seja, se redistribui, porém nunca some. (apud CAVALARI, 2014, p35)

A NBR 6118 (ABNT, 2014), em seu item 14.6.4.3 (limites para redistribuição de momentos e condições de ductilidade), define que o coeficiente de redistribuição  $\delta$  deve ser designado observando a deslocabilidade da estrutura, o que pode ser feito por meio do coeficiente  $\gamma_z$ . O coeficiente  $\delta$  é o quociente entre o momento fletor de cálculo após efetuar a redistribuição e o momento fletor de cálculo na condição engastada e segue os seguintes valores:

$$\delta \geq \begin{cases} 0.75, & \text{se } \gamma_z \leq 1.10 \\ 0.90, & \text{se } \gamma_z > 1.10 \end{cases}$$

Desta maneira, se a estrutura for considerada como de nós fixos ( $\gamma_z \leq 1.10$ ), é possível adotar uma redistribuição de até 25%, enquanto, caso seja considerado como de nós deslocáveis ( $\gamma_z > 1.10$ ), a redistribuição não deve ultrapassar os 10% (ALTOQI, 2019).

#### **4 ANÁLISE ESTRUTURAL**

A criação do modelo estrutural de uma estrutura real é uma das tarefas mais importantes da análise estrutural. Essa tarefa pode ser bastante complexa, dependendo do tipo de estrutura e da sua importância.

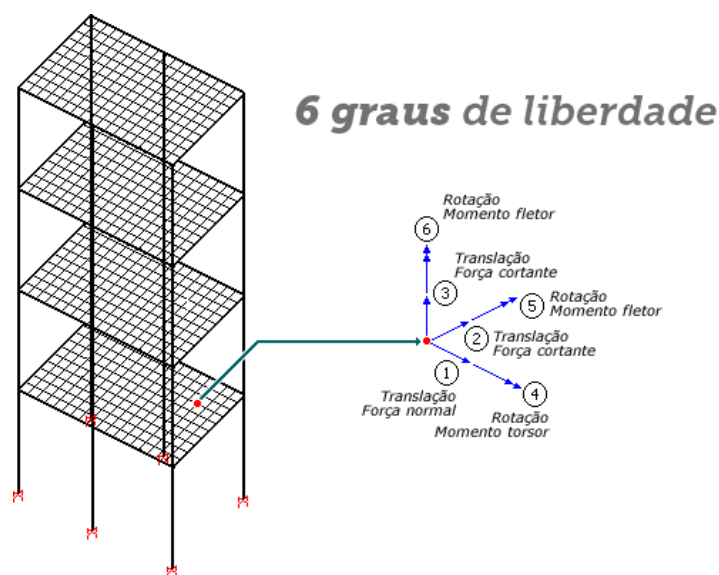
Em geral, a concepção de um modelo estrutural é feita representando o comportamento real da estrutura e adota-se uma série de hipóteses simplificadoras do comportamento físico e em resultados experimentais e estatísticos. Essas hipóteses são inerentes sobre a geometria de cada modelo, às condições de suporte com o meio externo, comportamento dos materiais e às solicitações que agem sobre a estrutura. (CIÊNCIA ET PRAXIS V. 1, n. 1, (2008).

Neste trabalho será estudado apenas as grelhas e os pórticos espaciais visto que são os modelos estruturais utilizados pelo programa Eberick, versão V10®.

Pórticos Espaciais consiste num modelo tridimensional 3D, composto por elementos lineares (barras), que possibilita a avaliação do comportamento global de todo o edifício, isto é, de todo o conjunto formado pelos pilares, vigas e lajes de todos os pavimentos de um edifício, perante a atuação de ações verticais e horizontais. Um cada nó do pórtico espacial possui 6 graus de liberdades, sendo estes três translações e três rotações, que possibilita a obtenção dos deslocamentos e esforços (normal, cortante, momento fletor e torsos) em cada extremidade. Composta por barras que representam todas as vigas e pilares da edificação com ligação semirrígidas, rígidas ou flexíveis. Esse método possibilita uma avaliação completa e eficaz da estrutura, uma vez que conseguimos determinas os momentos e os esforços de toda a estrutura (ALTOQI, 2019).



Figura 4 - Graus de Liberdade.



Fonte: TQS Informática, 2019.

As lajes geralmente não estão presentes neste modelo visto que possuem elevada rigidez no plano horizontal, capaz de compatibilizar de forma equivalente em todos os pontos do mesmo pavimento, tal caráter é designado como diafragma rígido. Porém podem ser introduzidas na modelagem do pórtico espacial por meio de um artifício chamado de nó mestre, um nó pertencente ao plano do pavimento associado aos demais nós e seus graus de liberdade. (NEVES, 2016, p.15)

Já às grelhas são constituídas por estruturas lineares, dispostos no plano horizontal de um pavimento que simulam vigas e lajes, situadas em um mesmo plano, formando uma malha que recebe solicitações não coplanares. As barras se interceptam e trabalham em conjunto para resistir às ações atuantes que são predominantemente perpendiculares ao seu plano. Os pilares são representados por apoios simples e as vigas podem ser rígidas ou articuladas.

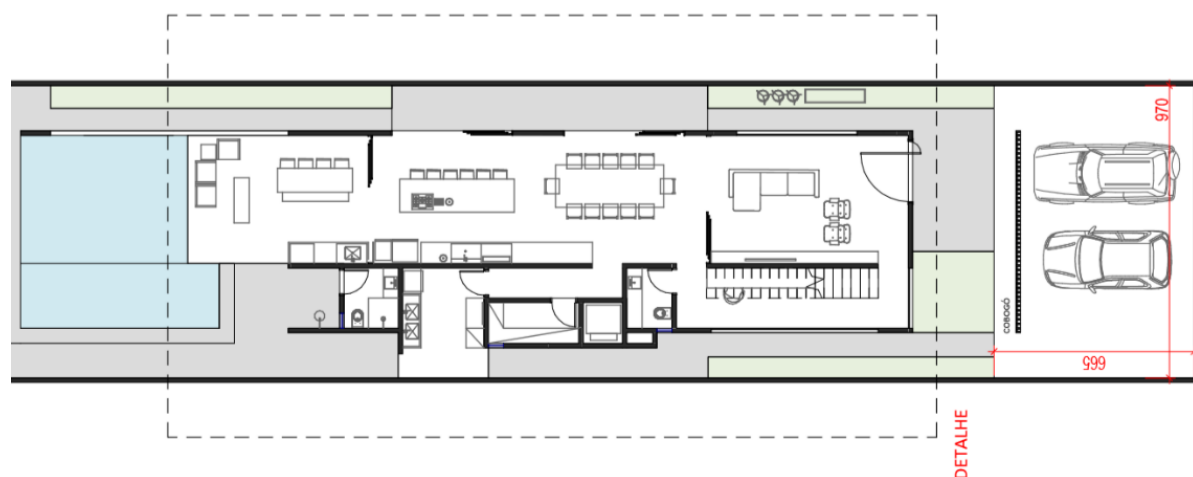
Segundo Kimura (2007), a interação entre todas as lajes e vigas do pavimento é considerada de forma bastante precisa. A transferência de cargas das lajes para as vigas não é mais feita por

## 5 MODELAGEM

O modelo escolhido foi uma residência unifamiliar que está sendo executada pelo escritório de Arquitetura e Engenharia Studio Metro. O projeto arquitetônico possui dois

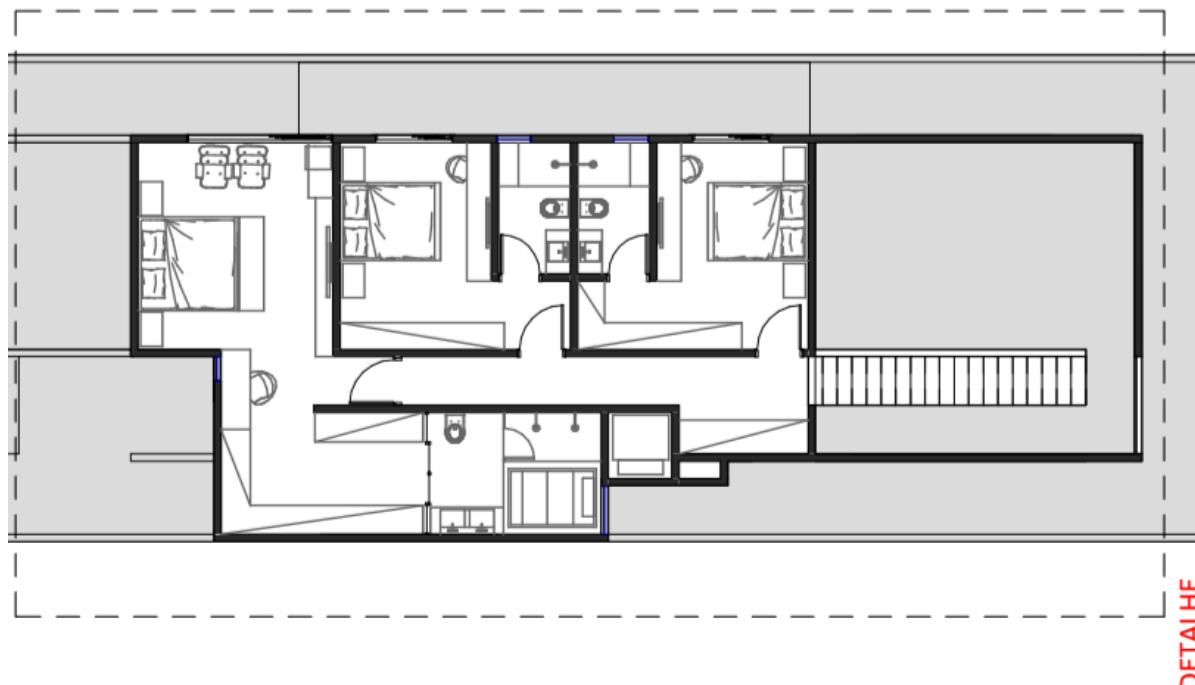
pavimentos (Figura 1 e 2), duas lajes sendo uma de cobertura e outra de piso (treliçada com preenchimento em EPS).

Figura 5 - Planta Baixa da residência, Pavimento Térreo.



Fonte: Autor (2019)

Figura 6 - Planta Baixa da residência Pavimento Superior.



Fonte: Autor (2019)

Para elaboração de um projeto estrutural pode-se dividir em quatro etapas principais: concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento, detalhamento e por fim emissão de plantas finais. Assim, cabe ao projetista, conhecer cada etapa minuciosamente para chegar a um produto de qualidade, econômico, com capacidade resistente necessária e bom desempenho em serviço (KIMURA, 2007). Este trabalho não apresentará as quatro etapas pois, as análises objetivadas são realizadas na fase de análise estrutural e verificadas na fase de dimensionamento.

A concepção estrutural desta pesquisa iniciou com o lançamento de todos os elementos estruturais na base do projeto arquitetônico, aprovado e compatibilizado. As figuras 7 e 8 abaixo apresentam a quantidade de vigas e pilares com suas respectivas seções, elevação e nível.

Figura 7 - Quantitativo e detalhamento das seções das vigas

Vigas			
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
VP1	20x60	0	353
VP2	14x50	0	353
VP3	14x30	0	353
VP4	14x50	0	353
VP5	14x30	0	353
VP6	14x30	0	353
VP7	14x40	0	353
VP8	14x30	0	353
VP9	14x40	0	353
VP10	14x50	0	353
VP11	14x60	0	353
VP12	14x60	0	353
VP13	14x60	0	353
VP14	14x30	0	353
VP15	14x40	0	353
VP16	14x40	0	353
VP17	14x40	0	353
VP18	14x30	0	353
VP19	14x30	0	353
VP20	14x30	0	353
	20x60	0	353
VP21	14x60	0	353
VP22	14x60	0	353
	14x40	0	353
	14x50	0	353
	20x60	0	353
VP23	14x30	0	353

Fonte: Autor (2019)

Figura 8 - quantitativo e detalhamento das seções das vigas.

Pilares			
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
P1	20 x 30	0	353
P2	14 x 30	0	353
P3	20 x 30	0	353
P4	20 x 30	0	353
P5	14 x 30	0	353
P6	20 x 30	0	353
P7	14 x 30	0	353
P8	14 x 30	0	353
P9	14 x 30	0	353
P10	14 x 30	0	353
P11	14 x 30	0	353
P12	14 x 30	0	353
P13	14 x 30	0	353
P14	14 x 30	0	353
P15	14 x 30	0	353
P16	14 x 30	0	353
P17	14 x 30	0	353
P18	14 x 30	0	353
P19	14 x 30	0	353
P20	14 x 30	0	353
P21	14 x 30	0	353
P22	14 x 30	0	353
P23	14 x 50	0	353
P24	14 x 30	0	353
P25	14 x 30	0	353
P26	14 x 30	0	353
P27	14 x 30	0	353
P28	14 x 30	0	353
P29	14 x 30	0	353
P30	14 x 30	0	353
P31	14 x 30	0	353
P32	14 x 30	0	353
P33	14 x 30	0	353
P34	14 x 30	0	353

Fonte: Autor (2019)

Lajes					
Nome	Tipo	Altura (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)	Sobrecarga (kgf/m <sup>2</sup> )
LP1	Treliçada 1D	14	0	353	250
LP2	Treliçada 1D	14	0	353	250
LP3	Treliçada 1D	14	0	353	250
LP4	Treliçada 1D	14	0	353	250
LP5	Treliçada 1D	14	0	353	250
LP6	Treliçada 1D	14	0	353	250
LP7	Treliçada 1D	14	0	353	250
LP8	Treliçada 1D	14	0	353	250
LP9	Treliçada 1D	14	0	353	100

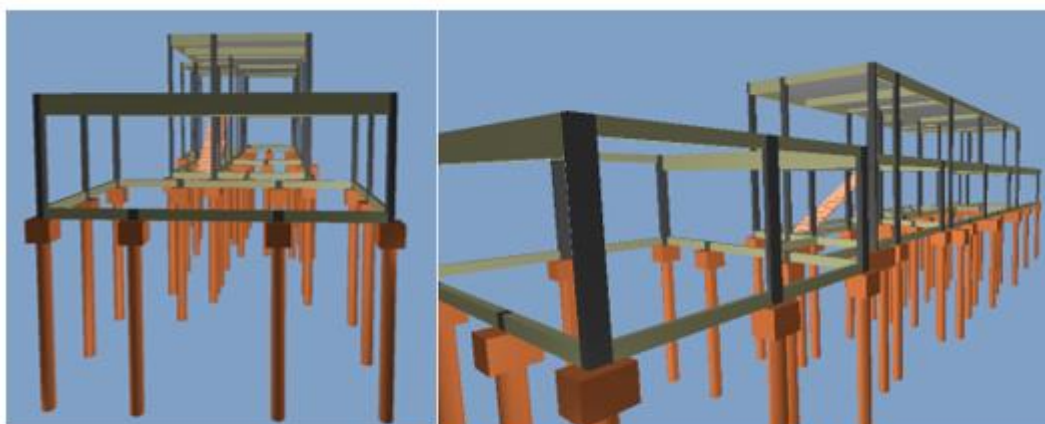
Fonte: Autor (2019)

Figura 10 - Quantitativo e detalhamento das lajes cobertura.

Lajes					
Nome	Tipo	Altura (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)	Sobrecarga (kgf/m <sup>2</sup> )
LC1	Treliçada 1D	14	0	673	100
LC2	Treliçada 1D	14	0	673	100
LC3	Treliçada 1D	14	0	673	100
LC4	Treliçada 1D	14	0	673	100
LC5	Treliçada 1D	14	0	673	100
LC6	Treliçada 1D	14	0	673	100
LC7	Treliçada 1D	14	0	673	100
LC8	Treliçada 1D	14	0	673	100
LC9	Treliçada 1D	14	0	673	100
LC10	Treliçada 1D	14	0	673	100
LC11	Treliçada 1D	14	0	673	100

Fonte: Autor (2019)

Figura 11 – Visualização 3D do lançamento de todos os elementos estruturais do projeto.



Fonte: AUTOR (2019).

Após a modelagem completa da estrutura, realiza-se o processamento estrutural. Nesta etapa é fundamental um conhecimento teórico. É importante observar se na Análise Estática Linear apresentou algum erro de processamento e se os resultados da carga, deslocamento horizontal, aceleração horizontal, coeficiente Gama-Z estão dentro do limite de segurança do programa. Observa-se na Tabela 1 os resultados desta análise estrutural.

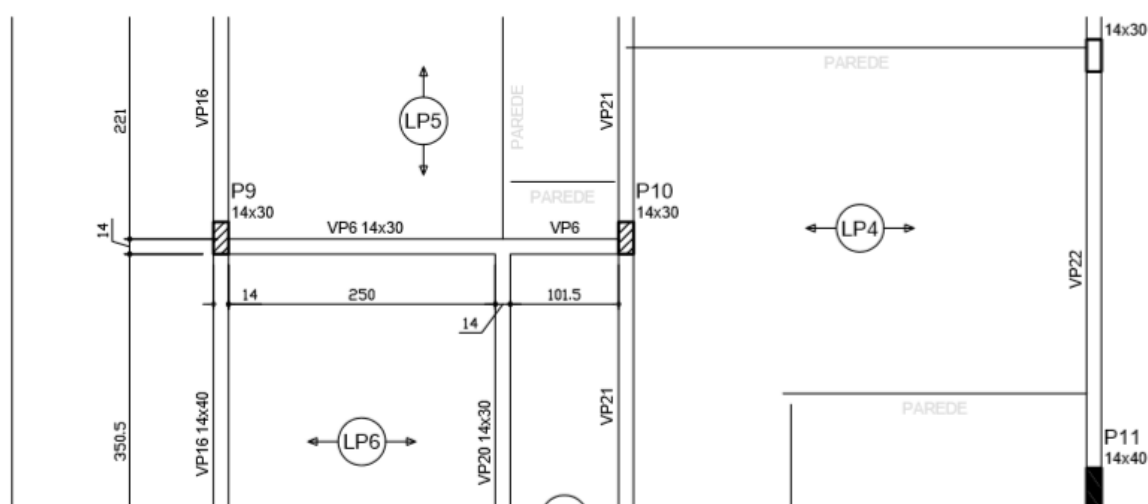
Tabela 1 – Resultados da análise estrutural

Resultados da análise estrutural	
Peso Próprio	120.24 tf
Adicional	197.95 tf
Acidental	25.77 tf
Total	343,96 tf
Área Aproximada	370,61m <sup>2</sup>
Relação	928,09 kgf/m <sup>2</sup>

Fonte: Autor (2019)

Para simplificar a análise e cumprir os objetivos, busca-se a análise de semirrígido em apenas algumas vigas, estas são:

Figura 13 - Localização da Viga VP6 na planta de forma.



Fonte: Autor (2019)



Tabela 3 – Resultados viga VC5, sem nenhum vínculo.

<b>VC5 0%</b>	
CARREGAMENTO	526,21kgf.m.cm
FERRAGEM SUPERIOR	2ø10
FERRAGEM INFERIOR	2ø10
MOMENTO FLETOR POSITIVO	1093
MOMENTO FLETOR NEGATIVO	1062
DESLOCAMENTO	0,35

Fonte: Autor (2019).

A Tabela 4 apresenta os resultados de carregamento, ferragem superior, ferragem inferior, momento fletor positivo, momento fletor negativo e deslocamento para a viga VP6 considerando nenhum vínculo.

Tabela 4 – Resultados viga VP6, sem nenhum vínculo.

<b>VP6 0%</b>	
CARREGAMENTO	2671,85kgf.m.cm
FERRAGEM SUPERIOR	2ø12,5
FERRAGEM INFERIOR	1°. 2ø12,5      2°. 1ø12,5
MOMENTO FLETOR POSITIVO	3389
MOMENTO FLETOR NEGATIVO	2597
DESLOCAMENTO	1,37

Fonte: Autor (2019)

A Tabela 5 apresenta os resultados dos pilares P9 e P10 sem nenhum vínculo estrutural.



Tabela 5 – Resultados dos pilares, sem nenhum vínculo.

PAVIMENTO	P9	P10	%
L1	8ø10	4ø10	0
L2	14ø10	ERRO D9	0
L3	12ø10	10ø12,5	0'

Fonte: Autor (2019)

Os pilares no qual as vigas estão apoiadas observa-se uma grande quantidade de ferragem como podemos observar Tabela 5. O pilar P10 apresentou erro no processamento (ERRO D9) que significa ‘‘nenhuma bitola configurada para armadura longitudinal pode ser usada’’. Ou seja, sua quantidade de ferro foi tão excessiva que nem mesmo o software foi capaz de calcular, assim impossibilita o uso desse arranjo.

As vigas mantiveram uma ferragem considerável, a VP6 possui resultados mais elevados que a VC5. Seu carregamento e de 2671,85 kgf.m.cm, ou seja 2145,64 kgf.m.cm a mais que a viga de cobertura. O deslocamento está dentro do permitido segundo a formula de deslocamento ( $D=C/250$ ), sendo C o valor do comprimento de 388, temos que  $388/250 = 1,55$ . A viga VP6 está deslocando a 1,37 cm dentro do permitido.

Para dar continuidade no estudo, e cumprir com os objetivos foi modificado a variação da porcentagem de 25% em 25% no nó semirrígido no trecho inicial e final das vigas. Os resultados são apresentados abaixo.

A Tabela 5 apresenta os resultados de carregamento, ferragem superior, ferragem inferior para a viga VP6 considerando o semirrígido a 25%,50%, 75% e 99%.

Tabela 5 – Resultados da viga baldrame VP6 com nó semirrígidos a 25%,50%,75% e 99%.

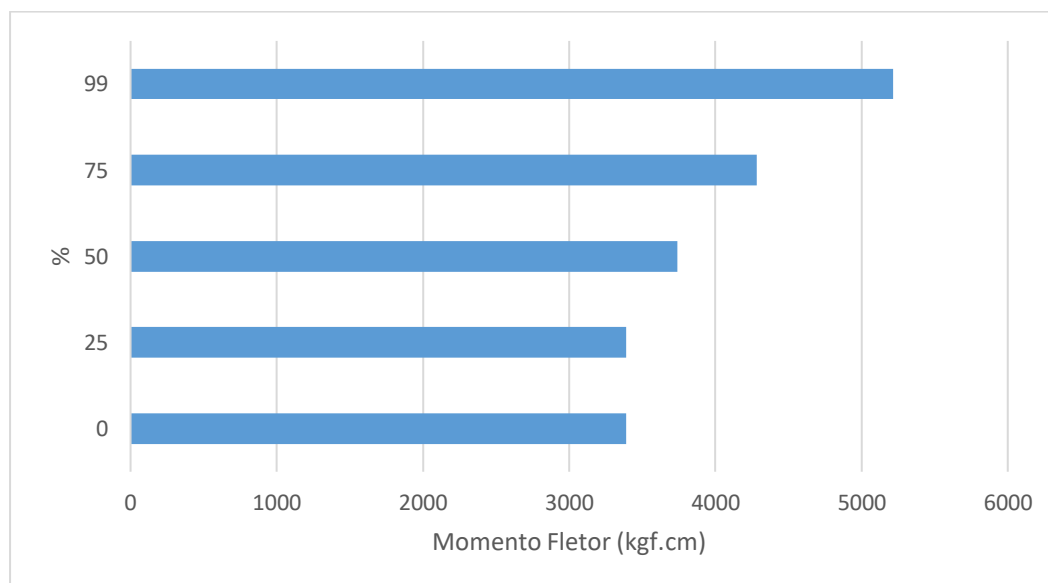
<b>VP6 25%</b>	
CARREGAMENTO	2671,85kgf.m.cm
FERRAGEM SUPERIOR	2ø12,5
FERRAGEM INFERIOR	1° Cam 2ø12,5 2° Cam 1ø12,5
<b>VP6 50%</b>	
CARREGAMENTO	2671,85kgf.m.cm
FERRAGEM SUPERIOR	2ø10
FERRAGEM INFERIOR	2° Cam 1ø12,5; 2° Cam 1ø12,5 1° Cam 2ø12,5

<b>VP6 75%</b>	
CARREGAMENTO	2671,85kgf.m.cm
FERRAGEM SUPERIOR	2ø10
FERRAGEM INFERIOR	2° Cam 1ø12,5; 2° Cam 1ø12,5; 1° Cam 2ø12,5
<b>VP6 99%</b>	
CARREGAMENTO	2671,85kgf.m.cm
FERRAGEM SUPERIOR	2ø10
FERRAGEM INFERIOR	1° Cam 1ø16    2° Cam 2ø16

Fonte: Autor (2019).

O Gráfico 01 apresenta os resultados do momento fletor positivos da viga VP6 considerando o semirrígido com 25%, 50%, 75% e 99%.

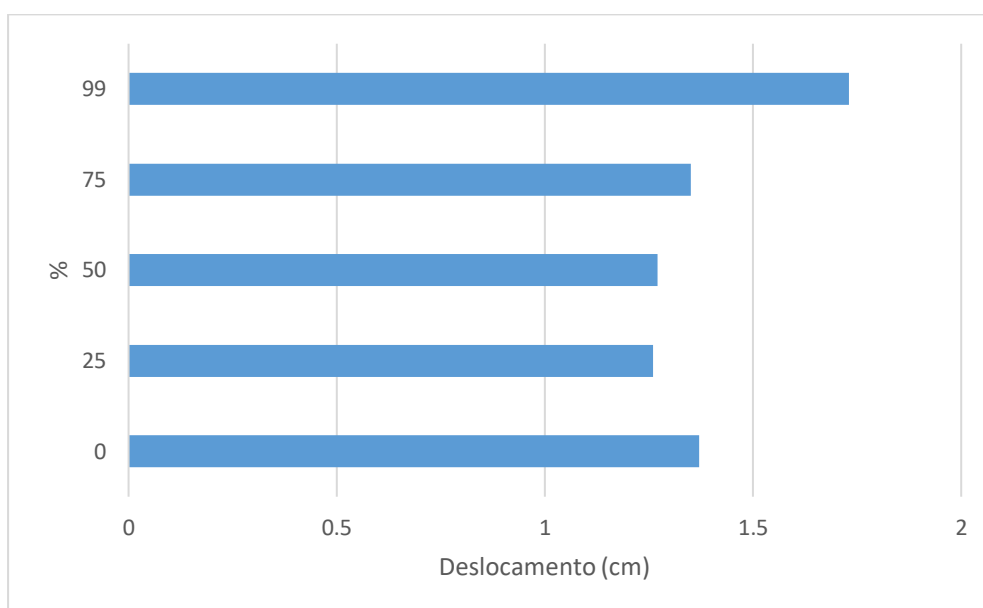
Gráfico 01 – Momento fletor positivo VP6



Fonte: Autor (2019).

O Gráfico 02 apresenta os resultados do momento fletor negativo da viga VP6 considerando o semirrígido com 25%, 50%, 75% e 99%.

Gráfico 02 – Momento fletor negativo VP6



Fonte: Autor (2019).

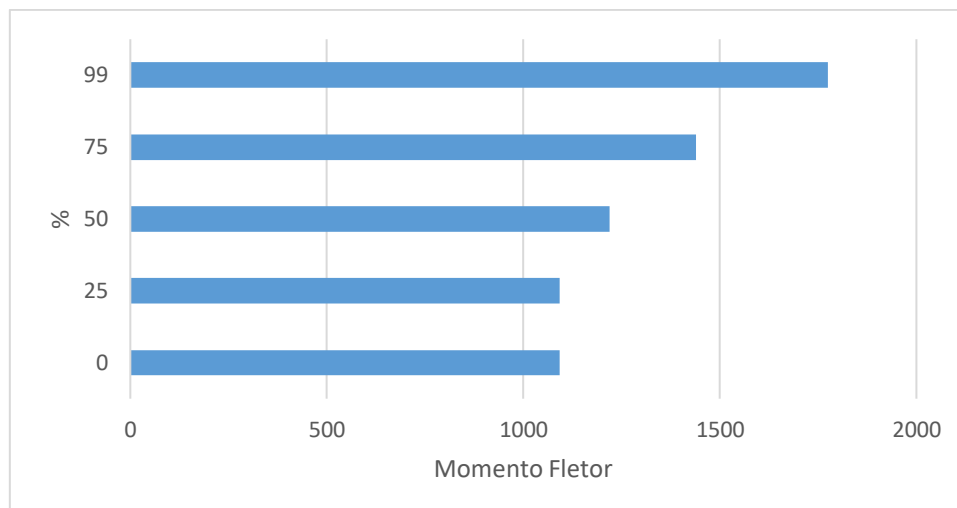
Tabela 6 – Resultados da viga baldrame VC5 com nó semirrígidos a 25%, 50%, 75% e 99%.

<b>VC5 25%</b>	
CARREGAMENTO	526,21kgf.m.cm
FERRAGEM SUPERIOR	2ø10
FERRAGEM INFERIOR	2ø10
<b>VC5 50%</b>	
CARREGAMENTO	526,21kgf.m.cm
FERRAGEM SUPERIOR	2ø10
FERRAGEM INFERIOR	2ø10
<b>VC5 75%</b>	
CARREGAMENTO	526,21kgf.m.cm
FERRAGEM SUPERIOR	2ø10
FERRAGEM INFERIOR	2ø10
<b>VC5 99%</b>	
CARREGAMENTO	526,21kgf.m.cm
FERRAGEM SUPERIOR	2ø10
FERRAGEM INFERIOR	1° Cam 1ø10      2° Cam 2ø10

Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 04 apresenta os resultados do momento fletor positivos da viga VC5 considerando o semirrígido com 25%, 50%, 75% e 99%.

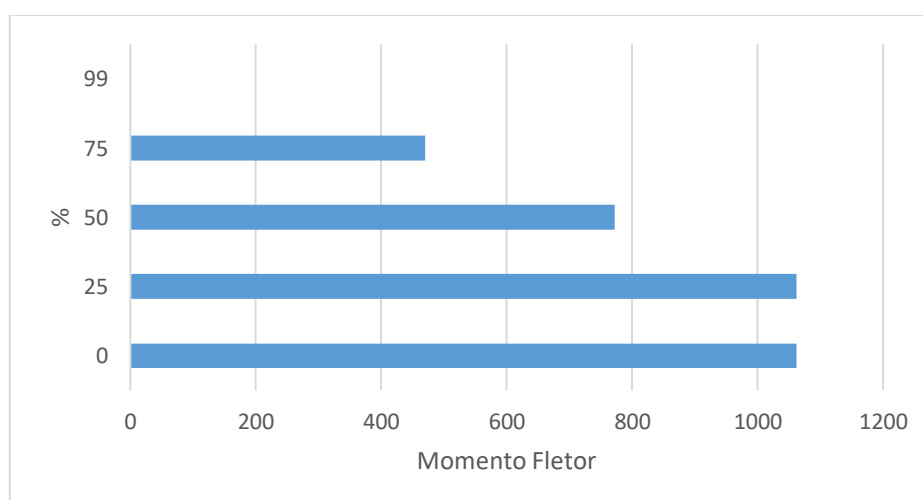
Gráfico 04 – Momento fletor positivo VC5



Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 05 apresenta os resultados do momento fletor negativo da viga VC5 considerando o semirrígido com 25%, 50%, 75% e 99%.

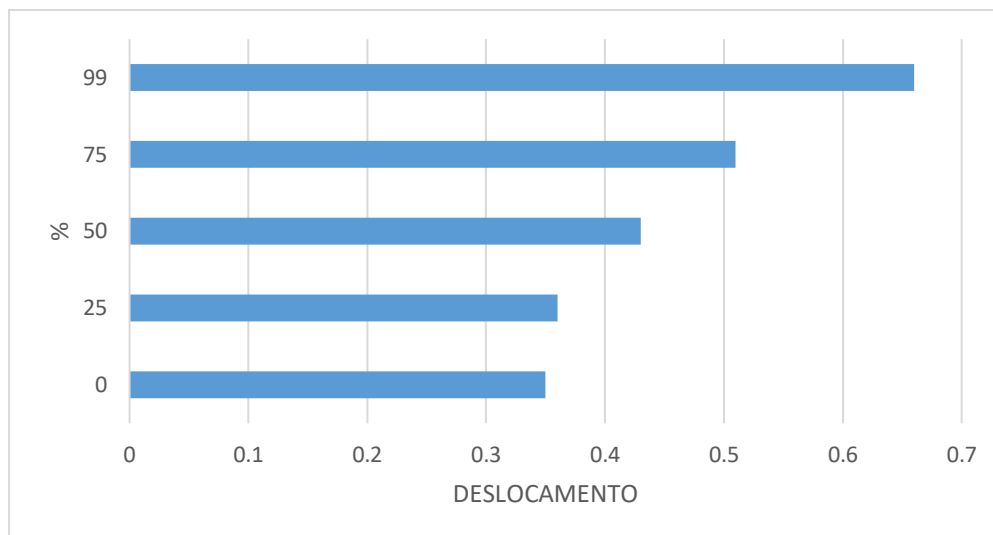
Gráfico 05 – Momento fletor negativo VC5



Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 03 apresenta os resultados do deslocamento da viga VC5 considerando o semirrígido com 25%, 50%, 75% e 99%.

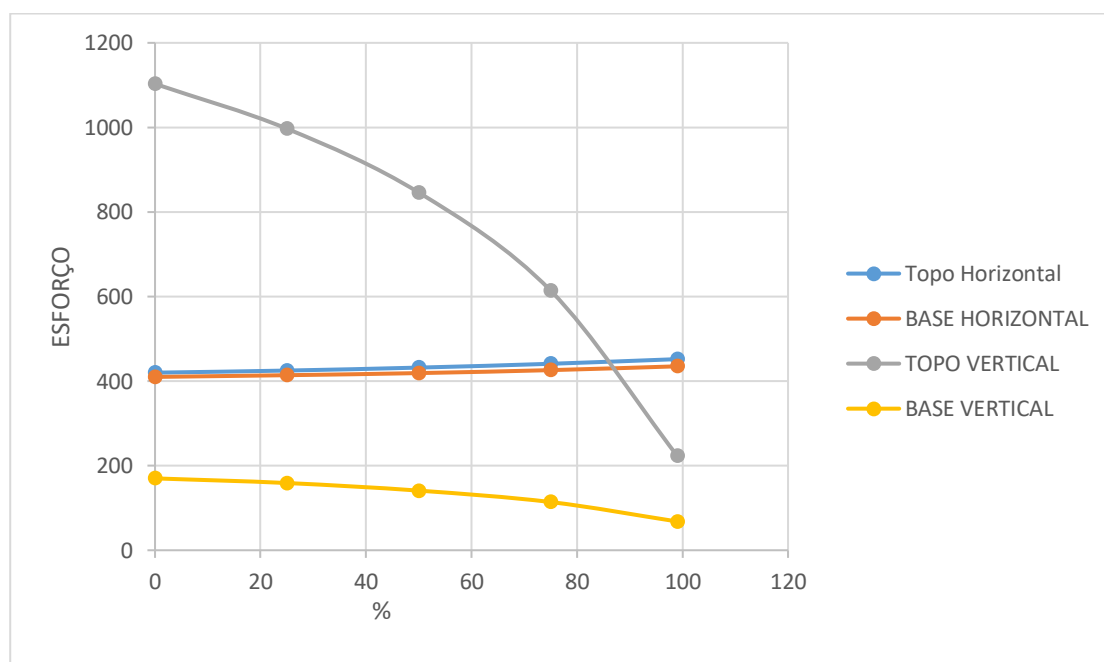
Gráfico 06 – Deslocamento VC5



Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 07 apresenta os resultados dos esforços atuantes no pavimento laje piso do pilar em estudo P9, considerando o semirrígido com 25%, 50%, 75% e 99%.

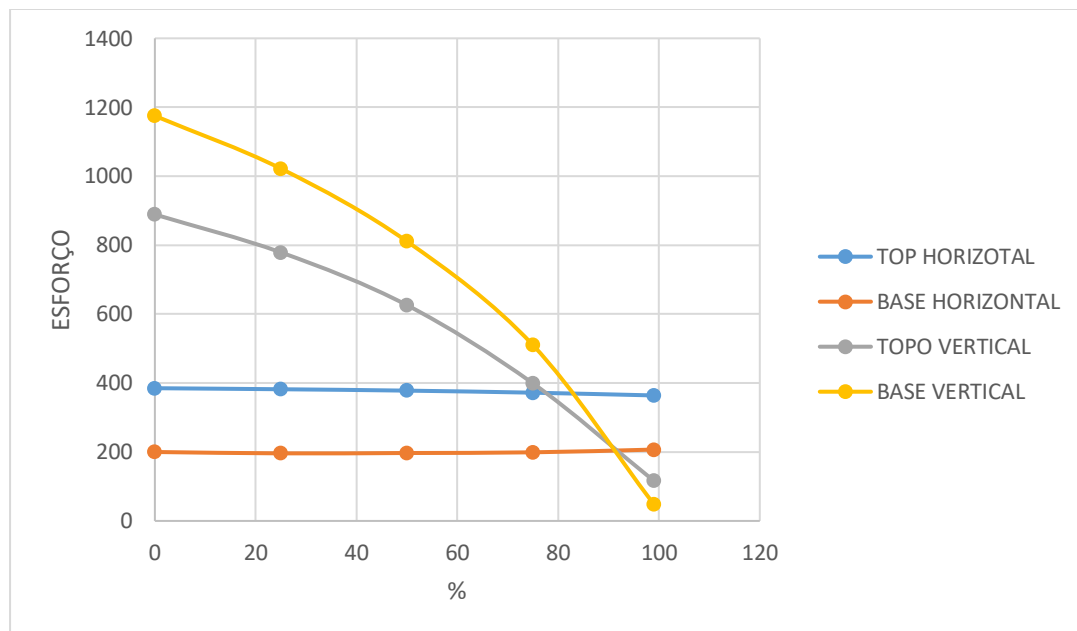
Gráfico 07 – Resultados dos esforços do pilar P9.



Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 08 apresenta os resultados dos esforços atuantes no pavimento cobertura do pilar em estudo P9, considerando o semirrígido com 25%, 50%, 75% e 99%.

Gráfico 08 – Resultados dos esforços do pilar P9



Fonte: Autor (2019)

A Tabela 7 apresenta os resultados das ferragens do pilar P9 no pavimento térreo, laje piso e cobertura, considerando o semirrígido com 25%, 50%, 75% e 99%.

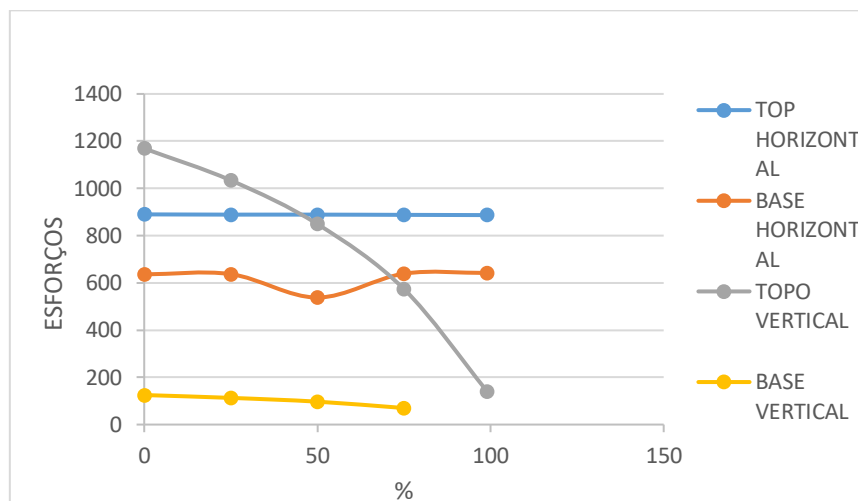
Tabela 7 – Resultados das ferragens do pilar P9.

PAVIMENTO (P9)	0%	25%	50%	75%	99%
TERREO	8ø10	8ø10	8ø10	8ø10	8ø10
PISO	14ø10	14ø10	12ø10	8ø10	4ø10
COBERTURA	12ø10	10ø10	6ø10	4ø10	4ø10

Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 09 apresenta os resultados dos esforços atuantes no pavimento laje piso do pilar em estudo P10, considerando o semirrígido com 25%, 50%, 75% e 99%.

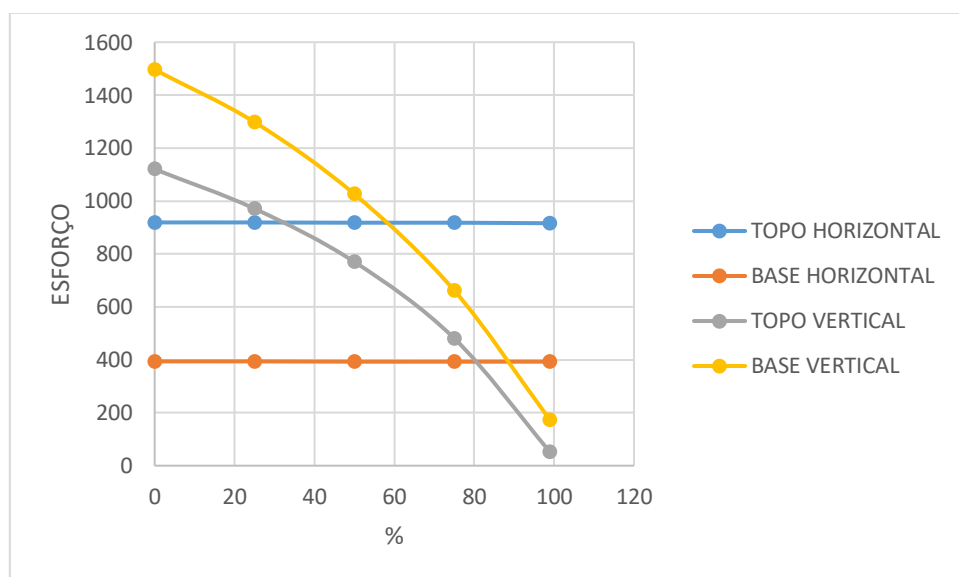
Gráfico 09 – Resultados dos esforços atuantes no pilar P10.



Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 10 apresenta os resultados dos esforços atuantes no pavimento cobertura do pilar em estudo P10, considerando o semirrígido com 25%, 50%, 75% e 99%.

Gráfico 10 – Resultados dos esforços de cobertura no pilar P10.



Fonte: Autor (2019)

A Tabela 8 apresenta os resultados das ferragens do pilar P9 no pavimento térreo, laje piso e cobertura, considerando o semirrígido com 25%, 50%, 75% e 99%.

Tabela 8 – Resultados das ferragens do pilar P10

PAVIMENTO (P10)	0%	25%	50%	75%	99%
TERREO	4ø10	4ø10	4ø10	4ø10	4ø10
PISO	ERRO D9	12ø12,5	14ø10	10ø10	8ø10
COBERTURA	10ø12,5	14ø10	10ø10	6ø10	4ø10

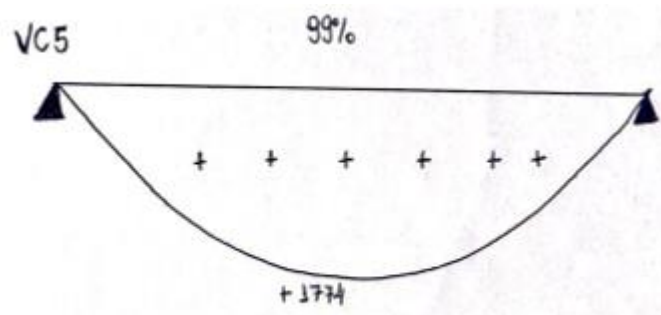
Fonte: Autor (2019)

Ao comparar os resultados obtidos, encontra-se uma diferença significativa na primeira análise onde o semirrígido era igual a zero. Sua ferragem obteve além da quantidade de barras excessiva teve também o aumento da área de aço. Observa-se uma estrutura muito rígida e robusta. Como e mostrado no Gráfico 10, os esforços atuantes no topo de na base do pilar no sentido vertical vai diminuindo de acordo que se aumenta o nó semirrígido.

Já para as vigas, a maior variação nos seus parâmetros de análise foi para a viga VP6 do pavimento piso, que com a variação da porcentagem de ligação diminuiu a ferragem superior e aumentou a inferior. Na VC5 manteve praticamente a mesma no teste com 25%, 50% e 75%, modificando sua ferragem apenas no teste com 99% do nó semirrígido, pode observar que seu deslocamento foi aumentando parcialmente com a alteração da rigidez. Essa modificação é em consequência do momento negativo que teve resultado igual a 0 (ou bem próximo a 0, não sendo exato), a viga necessita de um reforço a mais na sua parte inferior, esse reforço e feito com o acréscimo de um ferro com bitola de 10mm. Ou seja, com o aumento do semirrígido há uma diminuição do momento negativo na viga, diminuindo a ferragem superior e aumentando a inferior consequentemente.

Já nos pilares o aumento da porcentagem há uma diminuição na área de aço, isso devido a transferência de carga e diminuição dos momentos nas extremidades dos pilares vindos da viga.

Figura 14 - Gráfico do Momento Fletor com nó semirrígido a 99%.



Fonte: Autor (2019)

Fonte: Autor (2019)



Figura 15 - Foto da bitola de ferro que será acrescentada para reforço.



Fonte: Autor (2019)

Esse reforço é mais bem observado na viga VP6. Ao lançar o nó semirrígido a 25% seu deslocamento diminuiu de 1,37 cm para 1,26 cm. Apesar do seu momento fletor positivo e negativo não demonstrar diferença, a ferragem inferior onde atua o momento positivo necessitou de reforço e acrescentou 1 ferro de ½”.

Segundo a NBR 6118 no seu item 14.6.4.2 estabelece limite para proporcionar o adequado comportamento em vigas ao efetuar uma redução do seu momento fletor de  $M$  para  $\delta M$  em uma determinada seção transversal, a profundidade da linha neutra nessa seção  $x/d$ , para momento reduzido, deve ser limitado. Quando ultrapassamos esse limite temos resultados que podem corromper a estrutura. De acordo que modificamos a porcentagem de rigidez do nó semirrígido ultrapassando o permitido por norma observamos uma estrutura onde não possuem atuação do momento fletor negativo, e consequentemente o momento positivo aumenta consideravelmente. Como resultado temos uma viga com ferragem mais rígida na parte inferior.

Já nos pilares observa-se uma grande diferença em relação a ferragem e esforço. Como está representado na Tabela 7 e 10, no pavimento térreo não obteve nenhuma modificação na quantidade e bitola dos pilares, já no pavimento piso e cobertura conseguimos nitidamente ver a alteração de acordo que modificamos o nó semirrígido nas vigas.

Inicialmente o pilar P9 a 0%, obteve 14 barras de 10mm no pavimento piso e 12 barras de 10mm no pavimento cobertura, uma quantidade exorbitante. Esse valor vai diminuindo de acordo que aumentamos a porcentagem do semirrígido. O P9 (Pavimento piso L2 e Pavimento cobertura L3) com os 99% do semirrígido diminui sua ferragem para 4 barras de 10mm. Diferença de 8 e 10 barras.

Na tabela 6 e 8 é representado os resultados dos esforços atuantes na horizontal e vertical, topo e base dos pilares em estudo.

Conforme o aumento da porcentagem de rigidez da viga, os pilares sofrem alteração no esforço atuante. Sua força horizontal (topo e base) aumenta, enquanto a vertical diminui.

Exemplo, o P9 com 0% no sentido horizontal (topo) possui 420 kN.m ao chegar a 99% obteve 454 kN.m. Já na força vertical (topo) a 0% estava com 1103 kN.m e chegou a 223 kN.m com 99% do nó semirrígido.

Ou seja, para que houvesse a redução da ferragem dos pilares foi necessário que algum elemento estrutural no caso as vigas, exercesse a função de suportar a carga vertical da estrutura. Os pilares aliviam suas cargas verticais de acordo de modificamos sua porcentagem de semirrígido e sobrecarrega a horizontal.

## **7 CONCLUSÃO**

O presente trabalho analisou como uma estrutura de concreto armado se comporta perante as modificações da porcentagem do nó semirrígido, variando a porcentagem do semirrígido e observado os resultados de armadura, deslocamento em viga e pilar.

Inicialmente, realizou o processo completo de concepção, modelagem e esforços de uma habitação de dois pavimentos. Para posteriormente realizar a variação da porcentagem da viga e analisar os resultados.

De acordo com os valores obtidos, apresentam que quanto mais aumentamos a porcentagem do nó semirrígido, ao analisar os resultados obtidos, observa-se que com o aumento do semirrígido há uma diminuição do momento negativo na viga, diminuindo a ferragem superior e aumentando a inferior consequentemente. Já nos pilares o aumento da porcentagem há uma diminuição na área de aço, isso devido a transferência de carga e diminuição dos momentos nas extremidades dos pilares vindos da viga. Assim as vigas ficam enrijecida e robusta para suportar a força que e transferida do pilar e o pilar fica menos robusto com quantidade de ferragem reduzida.

Assim, vale ressaltar que a existência de ligações menos rígidas, ou seja, com maior capacidade de rotação, tem como consequência situações mais críticas para estabilidade global da estrutura. A variação da porcentagem do semirrígido mostra então a redistribuição de esforços que ocorreu quando se considerou a deformabilidade das ligações. Portanto, pode-se dizer que a indicação de projetar ligações mais rígidas para manter a estabilidade global da estrutura, nem sempre é interessante, devendo então fazer uma análise criteriosa da situação

do projeto em questão. Haja vista, que a ligação viga-pilar com deformabilidade resulta em análise mais fiel à realidade do comportamento da estrutura, além de conferir uma melhor estabilidade estrutural.

### REFERÊNCIAS

- ALTOQI INFORMÁTICA. AltoQiEberick – Manual do Usuário. Florianópolis, SC, 2000.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ações e segurança nas estruturas – procedimento: NBR8681. 2004
- ALTOQI, Florianópolis, SC, jan. 2010.
- Disponível em: <<http://faq.altoqi.com.br/content/263/643/pt-br/impacto-econ%C3%B4mico-da-nbr61182007-no-dimensionamento-de-pilares-de-concreto-armado.html>>. Acesso em: 10 jul. 2019
- ALTOQI, Pórtico Espacial, Tecnologia aplicada à engenharia, set./out. 2017. Disponível em: < <http://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3150&language=pt-br> >. Acesso em: 10 outubro 2019.
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Lajes de concreto. Notas de Aula. Professor Dr. Da Universidade Estadual Paulista. Bauru/SP, 2013.
- BEER, Ferdinand; JOHNSTON. E. Russell Jr. - Resistência dos Materiais. 1995.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. Concreto Armado Eu Te Amo. São Paulo: Edgar Blucher, 1983.
- CALLERA, Cleverson Aislan. Industrializando processos na obra: Instalações hidrossanitárias. Disponível em: <<http://nucleoparededeconcreto.com.br/artigos/industrializando-processos-na-obra-instalacoes-hidrossanitarias>>. Acesso em: 15 abr. 2016.
- CAVALAR, Cid Evandro De Castro Vasconcellos Filho. Análise comparativa do comportamento de uma estrutura de concreto armado de acordo com a vinculação adotada. Curitiba-2014
- CONCRETO, Portal do. AGREGADOS PARA CONCRETO. 2016. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/agregado.html>>. Acesso em: 13 jul. 2016.
- CÉSAR JR. Kléos M Lenz e SILVA Reginaldo Carneiro. Domínios de deformação em estruturas de concreto: Uma nova abordagem para o ensino. Abenge. Viçosa – MG, 2010.

CHAGAS, Daniel Pereira. Análise comparativa entre modelos estruturais para edifícios de concreto armado. Monografia – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná, 2012.

CHAMBERLAIN. Professor Zacarias. Exemplo de um Projeto Completo de um Edifício de Concreto Armado. São Paulo, 2001

\_\_\_\_\_. NBR 6118: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. - NBR 6120: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

SAKREZENSKI, Ricardo Lucas Sakrezenski. Estudo do comportamento estrutural de um edifício de múltiplos pavimentos, variando a geometria do núcleo rígido. Palmas - TO 2017.

QI SUPORTE. Quando aplicar um nó semirrígido. Tecnologia aplicada à engenharia, set./out. 2017. Disponível em: <<https://suporte.altoqi.com.br>>. Acesso em: 17 outubro 2019.

KIMURA, Alio. Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais. Pini: São Paulo, 2007.

SILVA, Luís Fernando Elyas Cerqueira. Modelagem numérica de ligação viga-pilar em estruturas pré-moldadas: comparação numérico-experimental. Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

ROCHA. Anderson Moreira; Concreto armado – Volume 1. São Paulo: NOBEL, 1986.